

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

⑤

Int. Cl. 2:

H 01 F 7-13

⑯ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

DT 24 33 775 A1

⑪

# Offenlegungsschrift 24 33 775

⑫

Aktenzeichen:

P 24 33 775.5

⑬

Anmeldetag:

13. 7.74

⑭

Offenlegungstag:

28. 5.75

⑳

Unionspriorität:

③② ③③ ③①

17. 7.73 DDR Wp 172313

⑤④

Bezeichnung:

Elektromagnete hoher Leistungsfähigkeit

⑦①

Anmelder:

Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow,  
X 1193 Berlin-Treptow

⑦②

Erfinder:

Kasten, Heinz, Dipl.-Phys., 1150 Berlin

DI 24 33 775 A1

2433775

### Elektromagnet hoher Leistungsfähigkeit

Die Erfindung betrifft Elektromagnete hoher Leistungsfähigkeit für den Antrieb von Einrichtungen, die bestimmte Kraft-Weg-Charakteristiken erfordern.

Es sind bereits Elektromagnete bekannt, die größere Hübe mit etwa gleichbleibender Magnetkraft gewährleisten und Einrichtungen mit einem bestimmten Kraftbedarf über einen längeren Weg betreiben können.

Allen derartigen Einrichtungen ist gemeinsam, die Länge der Feldlinien beim Arbeitshub des Ankers zu verkürzen. Diese Elektromagnete haben jedoch den Nachteil, daß prinzipiell keine genaue, über den gesamten Arbeitshub konstante Magnetkraft erzeugt werden kann und der Betrag der Magnetkraft zu Beginn des Hubes relativ gering ist, d.h., daß für eine bestimmte Magnetkraft die Magnetsysteme relativ groß gestaltet werden müssen. Weiterhin besteht oft ein Nachteil darin, daß die Magnetkraft am Ende des Hubes den höchsten Betrag erreicht, wodurch besondere Dämpfungsmaßnahmen erforderlich sind.

- 2.

Die bekannten Hubmagnete begründen sich grundsätzlich auf die Beziehungen für die Kraft

$$F = \frac{B^2}{2 \mu_0} \cdot f ,$$

woraus die bekannten Nachteile, wie geringe Kraft bei Hubbeginn und maximale Kraft am Hubende, ablesbar sind. Diese Nachteile lassen sich auch durch spezielle Gestaltungen der Pole nicht grundsätzlich beseitigen.

Die Erfindung hat den Zweck, den Nachteil der geringen Kraftwirkung zu Beginn des Hubweges der bekannten Magnet-systeme zu beseitigen und der Magnetkraft über den Arbeits-hub des Ankers einen projektierten Verlauf zu geben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine bisher nicht ausgenutzte Gesetzmäßigkeit für Hubmagnete anzuwenden und auf dieser Grundlage Magnetsysteme zu schaffen, die eine hohe Magnetkraft über einen beliebig langen Hub mit konstan-ter, linearer oder beliebiger Charakteristik aufweisen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß sich die gegenüberstehenden Polflächen, die Flächenüberdeckung, in Abhängigkeit vom Hub des elektromagnetischen Systems ver-ändern, während der Abstand der Polflächen zueinander im wesentlichen konstant bleibt. Eine allgemein gültige Formel für die Bestimmung der Magnetkraft F lautet:

$$F = \frac{1}{2} \mu_0 (J_w)^2 \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{f_i} \left( \frac{\partial h_i}{\partial s} \right) - \frac{h_i}{f_i^2} \left( \frac{\partial f_i}{\partial s} \right) \right]}{\left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{h_i}{f_i} \right) \right)^2} \quad (I)$$

Sie gilt für einen magnetischen Flußkreis, der über  $n$  parallel liegende Polflächen, die Luftspalte  $h_i$  und die Flächenmaße  $f_i$  geleitet und durch die Amperewindungszahl  $Iw$  erzeugt wird. Die magnetische Kraft  $F$  wirkt in Richtung des Hubes  $s$ . Das erste Glied der Summe beschreibt die Abstandsänderungen  $h_i$ , das zweite Glied die Flächenänderung  $f_i$  bezüglich des Hubes  $s$ . Diese allgemeingültige Formel zur Ermittlung der Kraftwirkungen bei elektromagnetischen Systemen wurde als Grundlage für das erfindungsgemäße Grundprinzip gefunden, deren Aussage über die der bisher dafür bekannten Formeln weitreichender ist.

Die bisher bekannte Formel für die Hubkraft von Elektromagneten leitet sich aus dem ersten Glied der Summe in (I) wie folgt ab:

$$\text{es ist} \quad i = 1 \quad \frac{\partial h_i}{\partial s} = 1 \quad \frac{\partial f_i}{\partial s} = 0$$

Die Berechnung ergibt dann:

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \frac{f}{s^2}$$

(II)

Zur Formel (II) gelangt man auch unter Benutzung der allgemein bekannten Formel

$$F = \frac{B^2 \cdot f}{2 \cdot \mu_0}$$

(III)

Der Vektorcharakter der Größen wird hier nicht angesprochen. Das erfindungsgemäß Grundprinzip für Elektromagnete beruht auf dem zweiten Glied der Summe in (I).

$$\frac{h_i}{f_i^2} \left( \frac{\partial f_i}{\partial s} \right)$$

Es wird hiermit die Erzeugung der Magnetkraft bei Veränderung der Flächenüberdeckung  $f_i$  beschrieben.

Erfindungsgemäß wird ein magnetischer Fluß über zwei Flächenüberdeckungen (Polflächen)  $f_1, f_2$  mit den Abständen  $h_1, h_2$  geleitet, die sich in ihren Beträgen linear abhängig vom Hub  $s$  zueinander gegensinnig oder gleichsinnig verändern.

Der Elektromagnet besteht aus einem Joch, das eine Spule für die Erzeugung eines Kraftfeldes trägt und einem Anker jeweils aus weichmagnetischem Material, die gegenseitig durch Lagerstellen geführt sind. Anker und Joch weisen Flächen auf, deren jeweiliger Überdeckungsbereich die Polflächen bilden, über die der magnetische Fluß geleitet wird. Die Polflächen stehen sich mit im wesentlichen konstantem Abstand gegenüber, deren Größen vom Hub abhängig sind. Für die Länge des Hubes ist die konstruktive Gestaltung des elektromagnetischen Systems maßgeblich. Das gilt sowohl für rotationssymmetrische als auch für ebene Anordnungen.

In weiterer Ausbildung der Erfindung weisen die Flächen auf dem Joch, auf dem Anker oder auf beiden zugleich bestimmte Krümmungen auf oder haben bezüglich der Verschiebungsachse einen bestimmten Neigungswinkel oder Absätze.

Die Erfindung gestattet auch, daß bei einem Elektromagneten nur eine Flächenüberdeckung (Polflächen) in Abhängigkeit vom Hub verändert wird, während die andere Polfläche von Anker und Joch der zweiten Flächenüberdeckung im wesentlichen konstant bleibt.

Beispielsweise wird die Fläche des Joches der zweiten Flächenüberdeckung während des gesamten Hubweges von der Ankerfläche überdeckt. Sie dient hier nur der Weiterleitung des magnetischen Flusses und gewährleistet die Beweglichkeit des Ankers. Sie ist so zu dimensionieren, daß ihr Einfluß von untergeordneter Bedeutung für die Erzeugung der Magnetkraft bleibt.

Die Hubkraft leitet sich aus (I) in Abhängigkeit vom Weg des Ankers für die erfindungsgemäßen Ausbildungen wie folgt ab:

Fall 1: Die Flächenüberdeckung (Polflächen)  $f_1$ ;  $f_2$  sind bezüglich des Hubes  $s$  gegenläufig.

Es kann angesetzt werden:

$$f_1 = A(s_0 - s)$$

$$f_2 = A(s_0 + s)$$

$$h_1 = h_2 = h$$

$$\frac{dh}{ds} = 0$$

$$\frac{df_1}{ds} = -A$$

$$\frac{df_2}{ds} = +A$$

$h$  Abstand der Flächen (Luftspalt)

$A$  Breite der Flächen  $f_1$ ;  $f_2$

$s_0$  nur für Gesamthub,  $-s_0 = s = s_0$

Aus (I) folgt für die Magnetkraft:

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \frac{A}{h} \cdot \frac{s}{s_0}$$

(IV)

Die Magnetkraft ist also dem Hub  $s$  streng proportional.  
Für den Bereich der Kraft gilt:

$$- F_{20} = F_2 = + F_{20}$$

$$F_{20} = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (I_w)^2 \cdot \frac{A}{h}$$

(V)

Fall 2: Die Flächenüberdeckung (Polflächen)  $f_1$  und  $f_2$  sind bezüglich des Hubes gleichläufig.

Es kann gesetzt werden:

$$f_1 = A_1 \cdot s$$

$$f_2 = A_2 \cdot s$$

$$h_1 = h_2 = h$$

$$\frac{dh}{ds} = 0$$

$$\frac{df_1}{ds} = A_1$$

$$\frac{df_2}{ds} = A_2$$

$h$  Abstand der Flächen (Luftspalt)

$A_1$  Breite der Fläche  $f_1$

$A_2$  Breite der Fläche  $f_2$

Aus (I) folgt für die Magnetkraft:

$$F_3 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (I_w)^2 \cdot \frac{A_m}{h} \quad \text{wobei} \quad A_m = \frac{A_1 \cdot A_2}{A_1 + A_2}$$

(VI)

Die Magnetkraft  $F_3$  ist also vom Hub  $s$  nicht abhängig.



Der Bereich des Hubes ist lediglich konstruktiv bedingt, d.h., er ist abhängig vom Maximalwert der Überdeckung (Länge des Ankers).

Durch Kleinhaltung des Luftspalts  $h$  kann die Magnetkraft sehr hoch gehalten werden.

Durch die Gestaltung der Flächen auf Joch und/oder Anker in Form von Krümmungen oder Neigungen bezüglich der Hubrichtung kann ein bestimmter Magnetkraftverlauf als Überlagerung zu (IV) oder (VI) erzielt werden.

Fall 3: Die Flächenüberdeckung  $f_1$  ist vom Hub abhängig und die Flächenüberdeckung  $f_2$  ist zur Gewährleistung der Beweglichkeit des Ankers zwar erforderlich, jedoch vom Hub  $s$  nicht abhängig.

$$f_1 = A \cdot s$$

$$f_2 = \text{konstant}$$

$$\left. \begin{matrix} h_1 \\ h_2 \end{matrix} \right\} = \text{konstant}$$

$$\frac{dh}{ds} = 0$$

$$\frac{df_1}{ds} = B$$

$$\frac{df_2}{ds} = 0$$

Aus (I) folgt die Magnetkraft:

$$F_4 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \frac{A}{h_1} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{sA}{f_2}\right)^2}$$

(VII)

Für kleine Werte  $\frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{AS}{f_2}$  folgt aus (VII)

$$F_4 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw) \cdot \frac{A}{h_1} \left( 1 - 2 \left[ \frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{sA}{f_1} \right] + 3 \left[ \frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{sA}{f_1} \right]^2 + \dots \right) \quad (\text{VIII})$$

Es findet also eine Abnahme der Magnetkraft mit dem Fortschreiten des Hubes statt, der aber gegebenenfalls durch die erfindungsgemäße Gestaltung der Polflächen entgegengewirkt werden kann.

Die Steilheit des Abfalls der Magnetkraft kann auch durch geeignete Dimensionierung des Faktors

$$\frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{A}{f_1}$$

klein gehalten werden.

Sieht man vom Abfall der Magnetkraft mit fortschreitendem Hub ab, so ist (VIII) mit (VI) identisch, d.h., die Magnetkraft  $F_4$  hängt nicht vom Hub  $s$ , sondern wesentlich vom Luftspalt  $h$  und der Polflächenbreite  $A$  ab.

Für viele Anwendungsfälle kann statt Fall 2 aufgrund eines geringeren Aufwandes Fall 3 angewandt werden.

Die erfindungsgemäße Lösung bietet die Möglichkeit, jeden geforderten Magnetkraftverlauf zu erreichen und die Abmessungen und den Strombedarf wesentlich zu verringern.

Der Nutzen der Erfindung ergibt sich aus dem Vergleich der Magnetkräfte nach (II), (IV) und (VI) bzw. (VII). In den häufigsten Anwendungsfällen für Hubmagnete ist zu Beginn des Hubes eine maximale Kraft erforderlich, die zum Hubende hin abnehmen sollte oder konstant bleiben muß.

Alle nach dem Stand der Technik konstruierten Hubmagnete weisen jedoch nach (II) grundsätzlich entgegengesetztes Verhalten auf. Das bedeutet, daß die Dimensionierung eines Hubmagneten nach Gleichung (II) für den Hubanfang erfolgen muß, da hier die Magnetkraft am kleinsten und die zu überwindende Kraft am größten ist (ruhende Reibung, sicherer und schneller Anzug). Bereits vorgeschlagene Zusatzkonstruktionen auf der Basis eines Getriebes, dessen Übersetzungsverhältnis zwischen Anker und Kraftangriffspunkt vom Hub abhängt, sind durch die erfindungsgemäße Lösung nicht erforderlich.

Der Fall der konstanten Magnetkraft nach (VI) bietet weiterhin die Möglichkeit, quadrierende oder radizierende Einrichtungen zu schaffen. Nach (VI) hängt die Größe der Magnetkraft  $F$  lediglich vom Quadrat des Eingangsstromes ab, so daß es möglich ist, diese durch elastische Elemente in einen Weg oder eine andere Art der Anzeige umzuwandeln.

Die Erfindung soll nachstehend an Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Es zeigen

Fig. 1: Elektromagnet nach dem Stand der Technik (prinzipielle Form)

Fig. 2: Erfindungsgemäßer Elektromagnet, bei dem die Flächenüberdeckungen mit dem Hub gegenläufig sind.

Fig. 3: Erfindungsgemäßer Elektromagnet, bei dem die Flächenüberdeckungen mit dem Hub gleichläufig sind.

Fig. 4: Erfindungsgemäßer Elektromagnet, bei dem sich nur eine Flächenüberdeckung mit dem Hub verändert.

Fig. 5: Erfindungsgemäßer Elektromagnet als Anwendungsbeispiel für Schaltrelais, bei dem sich nur eine Flächenüberdeckung mit dem Hub verändert.

Fig. 6: Darstellung der Abhängigkeit der Magnetkräfte vom Hub für erfindungsgemäße Elektromagnet nach den Figuren 2 bis 5 und ein Vergleich zum Elektromagneten nach dem Stand der Technik.

Fig. 7a bis 7e: Beispiele für Ausbildungsmöglichkeiten der Flächen und ihre prinzipiellen Auswirkungen als überlagerte Kräfte für Elektromagnete nach Figuren 2 bis 5.

Die erfindungsgemäßen Beispiele 2 bis 4 beziehen sich auf rotationssymmetrische Systeme, andere Bauformen der erfindungsgemäßen Lösung können ohne weiteres abgeleitet werden. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (I) bzw. nach den Gleichungen (IV), (VI) oder (VII).

Der Elektromagnet nach Fig. 1 weist einen Anker 1, ein Joch 2 und eine Wicklung 3 auf. Als rotationssymmetrische Ausführung ist die Fläche  $f$  in Gleichung (II) durch  $\pi \cdot R^2$  zu ersetzen. Im Beispiel nach Fig. 1 ist  $R_1$  der Durchmesser des Ankers 1.

Nach Gleichung (II) beträgt die Hubkraft  $F_1$  am Hubbeginn für einen Gesamthub  $s = 5 \text{ mm}$  und  $R_1 = 5 \text{ mm}$ :

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \pi \cdot \frac{R_1^2}{s^2} = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \pi$$

(IX)

Die Hubkraft vergrößert sich entsprechend Gleichung (II). Der Verlauf der Magnetkraft  $F_1$  in Abhängigkeit vom Hub  $s$  ist in Fig. 6 dargestellt.

Der Elektromagnet nach Fig. 2 enthält ein Joch  $2_2$ , mit einem Luftspalt der Breite  $l_B$  und einem Radius  $R_{12}$ . Auf dem Joch ist die Wicklung untergebracht. Der Luftspalt wird vom Anker  $1_2$  mit der Länge  $l_A$  und dem Radius  $R_{A2}$  überdeckt. Er ist über die Stange 11 in den Lagern 9 längsverschiebbar gelagert. Nach Gleichung (IV) beträgt die Hubkraft  $F_2$  z.B. für einen Gesamthub  $s_0 = 5 \text{ mm}$  und

$$R = \frac{R_{12} + R_{A2}}{2} = 5 \text{ mm}, \quad h = 0,2 \text{ mm} \quad (A = 2 R)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \frac{2\pi R}{h} \cdot \frac{s}{s_0}$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot 2\pi \frac{s}{5 \text{ mm}} \cdot \frac{5,0 \text{ mm}}{0,2 \text{ mm}}$$

(X)

Die Hubkraft ist im Bereich  $-5\text{mm} = 5 = 5\text{mm}$  streng linear vom Hub  $s$  abhängig. Die Maximalwerte betragen

$$F_{2\text{max}} = \pm \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \pi \cdot 50$$

(XI)

Der Verlauf der Magnetkraft  $F_2$  in Abhängigkeit vom Hub  $s$  ist in Fig. 6 dargestellt.

Der Hubmagnet nach Fig. 3 enthält einen Ringanker (rotations-symmetrisches Beispiel), der mit einer Ankerplatte 8 verbunden ist. Die Lagerung des Ankers erfolgt längsverschieblich über die Stange 10 und über die Lager 9.

Das Joch 2<sub>3</sub> enthält die Wicklung 3 sowie einen Ringspalt, der durch die konzentrischen Jochteile 5 und 7 der Radien  $R_{31}$  und  $R_{32}$  gebildet wird.

Der Ringanker 4 taucht in den Ringspalt ein, wodurch die Luftspalte  $h_1$  und  $h_2$  entstehen.

Der Gesamthub ist durch das Maß  $s_0$  konstruktiv vorgebar. Die Berechnung der Hubkraft  $F_3$  erfolgt nach Gleichung (VI). Es wird z.B. für  $R_{31} = 5\text{mm}$  und  $R_{31} = 10\text{mm}$ ,  $s_0 = 5\text{mm}$ ,  $h_1 = h_2 = 0,2\text{mm}$  mit  $A_1 = 2 R_{31}$  und  $A_2 = 2 R_{32}$  angenommen.

$$F_3 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \frac{1}{h} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2}{A_1 + A_2}$$

$$F_3 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \frac{1}{0,2\text{mm}} \cdot 2\pi \frac{5 \cdot 10 \text{ mm}^2}{5 + 10 \text{ mm}}$$

$$F_3 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \pi \cdot 33,3$$

(XII)

Der Verlauf der Magnetkraft  $F_3$  in Abhängigkeit vom Hub  $s$  ist in Fig. 6 dargestellt.

Diese Kraft ist im gesamten Bereich  $s_0$  konstant und um den Faktor 33,3 höher als beim Elektromagneten entsprechend Fig. 1 bei Beginn des Hubes. Um diesen Faktor kann durch die erfindungsgemäße Lösung der Erregerstrom verringert oder die Baugröße verkleinert werden.

Der Elektromagnet nach Fig. 4 ist ähnlich dem nach Fig. 2 aufgebaut, lediglich der Anker  $1_4$  ist länger gehalten, so daß sich der Ringluftspalt  $l_4$  eines Überdeckungsgebietes flächenmäßig nicht verändern kann, d.h., nur die zweite Flächenüberdeckung ändert sich in Abhängigkeit vom Hub des Ankers  $1_4$ .

Der Hub ist durch den Weg  $s_0$  konstruktiv vorgebar. Die Berechnung der Hubkraft erfolgt nach Gleichung (VII). Für  $R = 5\text{mm}$  und  $h_2 = h_1 = h = 0,2\text{mm}$  folgt als Maximalkraft

$$F_{4\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (I_w)^2 \cdot \frac{A}{l_1}$$

$$F_{4\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (I_w)^2 \cdot 50$$

(XIII)

Der relative Betrag der Magnetkraft  $F_4$  zum Hub  $s$  beträgt nach (VIII) in 1. Näherung

$$\delta F_4 = 2 \left[ \frac{h_2}{l_1} \cdot \frac{sA}{F_2} \right]$$

(XIV)

Entsprechend der Fig. 4 ist  $A = 2 R$  und  $f_2 = 2 R l_4$ .

Daraus folgt für den relativen Abfall der Magnetkraft  $F_4$

$$\delta F_4 = \frac{2s_0}{l_4}$$

(XV)

Für  $\frac{\delta}{F_4} = 20\%$  ist  $l_4 = 10 s_0$  zu wählen.

Es kann entsprechend Gleichung (XIV) der Spalt  $h_2$  auch verringert werden. Der Verlauf der Magnetkraft  $F_4$  in Abhängigkeit vom Hub  $s$  ist in Fig. 6 dargestellt.

Die Anfangskraft des erfinderischen Elektromagneten nach Fig. 5 ist um den Faktor 50 höher als die des Magneten nach Fig. 1. Der Elektromagnet nach Fig. 5 ist ein Anwendungsbeispiel für nicht rotationssymmetrische Systeme, z.B. für Schaltrelais.

Ein Joch 11, das eine Abflachung 12 aufweist, trägt eine Wicklung 13. Ein im Lager 14 gelagerter Klappanker 15 hat eine Abwinkelung 16. Zwischen der Abflachung 12 des Joches 11 und dem Klappanker 15 ist ein Luftspalt  $h_5$  vorgesehen. Die Berechnung erfolgt wiederum entsprechend Gleichung (VII). Statt der Polflächenbreite  $A$  ist  $2R$  für die Querschnittsabmessung der Abflachung 12 zu setzen.

Für  $R = 5\text{mm}$  und  $h = 0,2\text{mm}$  folgt aus (VII)

$$F_5 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot (Iw)^2 \cdot \pi \cdot 16$$

(XVI)

Es wird also eine 16fach höhere Kraft ausgeübt, wobei wiederum von einem Gesamthub von  $s_0 = 5\text{mm}$  ausgegangen wurde und entsprechend Fig. 5 der Gesamthub  $s_0$  ebenfalls ein Konstruktionsmaß ist. Bei verkleinerten Luftspalten steigen die Magnetkräfte der beschriebenen Ausführungsbeispiele. Die Jochfläche 17 wirkt gegen Ende des Hubes kraftverstärkend, wodurch der Kraftabfall infolge des magnetischen Widerstandes der Lagerung 14 kompensiert werden kann.

Der Verlauf der Magnetkraft  $F_5$  in Abhängigkeit vom Hub  $s$  ist in Fig. 6 dargestellt.

Die Figuren 7a bis 7e zeigen verschiedene Möglichkeiten zur Ausbildung von Joch- und Ankerflächen auf. Es können auch die Flächen von Jochteilen 5 und/oder 7 bei zylindrischem Anker entsprechend verändert werden. Die Figuren 7a bis 7e stellen jeweils zu den verschiedenen Querschnitten den entsprechenden

Magnetkraftverlauf in Abhängigkeit vom Hub  $s$  dar.  
Entsprechende Flächenveränderungen gegenüber einer Form, die einen konstanten Luftspalt  $h$  gewährleisten würde, sind auch bei nichtrotationssymmetrischen Baukernen möglich.  
Ein Beispiel zeigt die Abflachung 12 des Joches 11 in der Fig. 5, wodurch ein Kraftanstieg am Hubende zu verzeichnen ist. Die jeweilige Neigung 18 in Fig. 7 ist für den Verlauf der Magnetkraft  $F$  bestimmend.

Diese Flächenveränderung zur Korrektur der Magnetkraft ist hauptsächlich für Systeme entsprechend den Figuren 3, 4 oder 5 ( $F$  konst.) sinnvoll.



Patentansprüche

- ① Elektromagnet mit hoher Leistungsfähigkeit, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung der Magnetkraft (F) in Abhängigkeit vom Hub (s) durch Veränderung von n Überdeckungen von sich gegenüberliegenden Flächen von Anker und Joch bestimmt ist, daß die jeweils voneinander überdeckten Flächen Polflächen ( $f_i$ ) sind, wobei die Luftspalte ( $h_i$ ) zwischen Anker und Joch im wesentlichen konstant sind und daß sich der Betrag der Magnetkraft (F) aus einer allgemeingültigen Formel

$$F = \frac{1}{2} \mu_0 (J_w)^2 \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{f_i} \left( \frac{\partial h_i}{\partial s} \right) - \frac{h_i}{f_i^2} \left( \frac{\partial f_i}{\partial s} \right) \right]}{\left( \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{f_i} \right)^2}$$

herleitet, wobei das erste Glied der Summe die Abstandsänderung ( $h_i$ ) bezüglich des Hubes (s) und das zweite Glied der Summe die Flächenänderung ( $f_i$ ) bezüglich des Hubes (s) darstellt.

2. Elektromagnet nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Beträge von zwei Flächenüberdeckungen ( $f_1$ ;  $f_2$ ) mit im wesentlichen konstanten Luftspalten ( $h_1$ ;  $h_2$ ) in Abhängigkeit vom Hub (s) gegensinnig ändern, wobei die Magnetkraft ( $F_2$ ) im Bereich der durch die konstruktive Ausdehnung von Ankerfläche und Jochfläche bestimmten Hublänge, dem Hub (s) streng proportional ist und daß bei symmetrischer Stellung des Ankers ( $1_2$ ) zu Luftwegen ( $1_B$ ) des Joches ( $2_2$ ) die Magnetkraft ( $F_2$ ) gleich Null ist.
3. Elektromagnet nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Beträge der zwei Flächenüberdeckungen ( $f_1$ ;  $f_2$ ) mit im wesentlichen konstanten Luftspalten ( $h_1$ ;  $h_2$ ) bezüglich des Hubes (s) zueinander gleichsinnig ändern, wobei die Magnetkraft ( $F_3$ ) im Bereich der durch die konstruktive Ausdehnung von Joch- und Ankerflächen bestimmten Hublänge, vom Hub nicht abhängt.

4. Elektromagnet nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich in Abhängigkeit vom Hub (s) eine der Flächenüberdeckungen ändert, während die zweite für die Weiterleitung des magnetischen Flusses im wesentlichen konstant bleibt und zur Gewährleistung der Beweglichkeit des Ankers angeordnet ist.
5. Elektromagnet nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Anker- und/oder Jochflächen Krümmungen, Neigungen oder Absätze aufweisen.

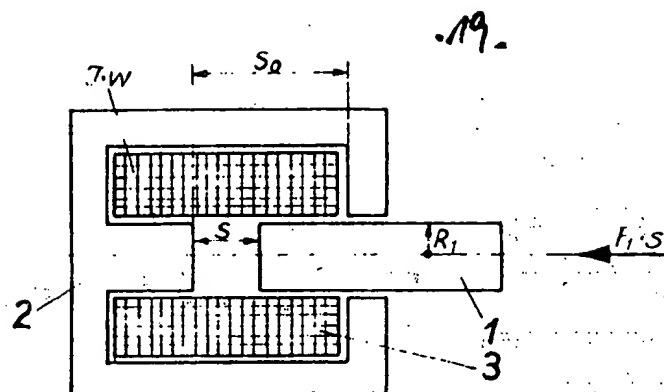


Fig 1

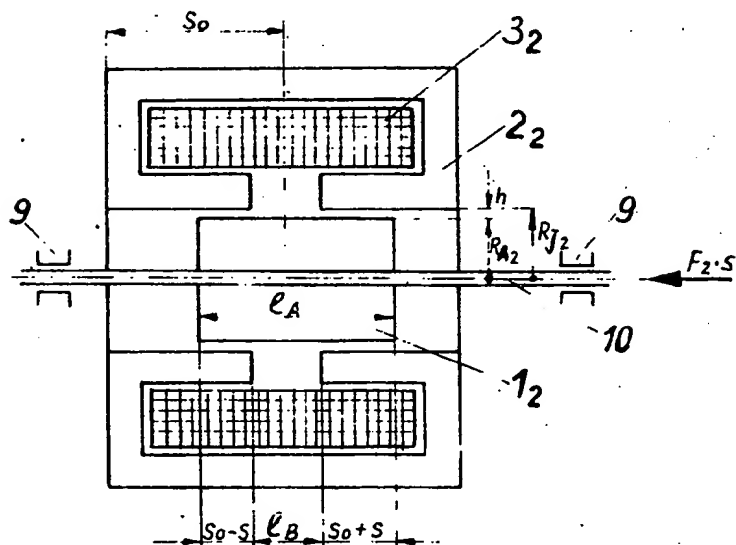


Fig 2

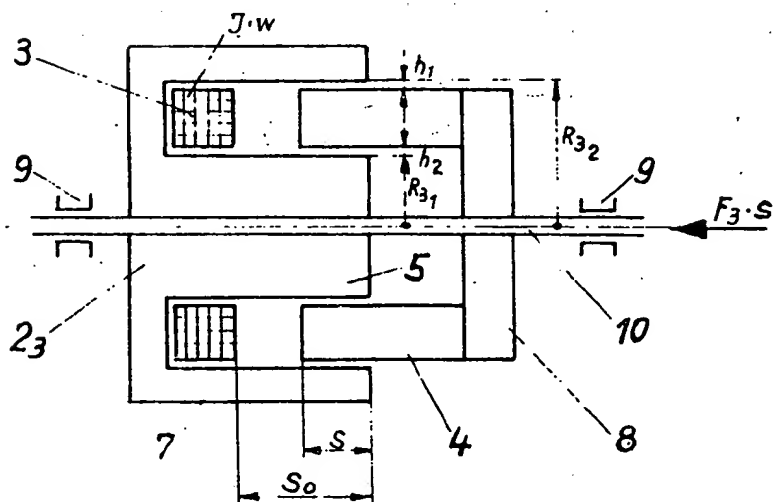


Fig 3

-17-

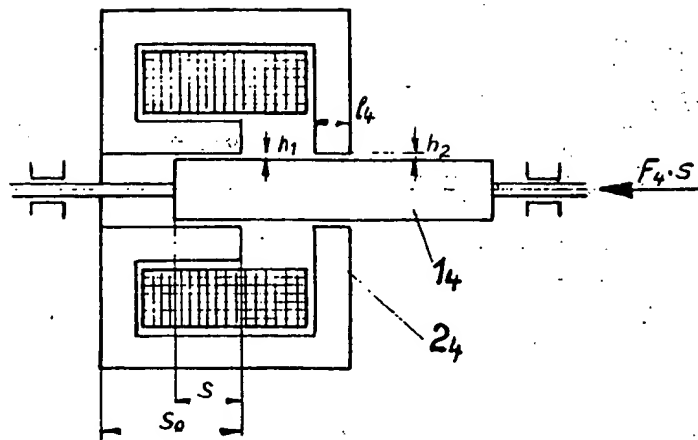


Fig 4

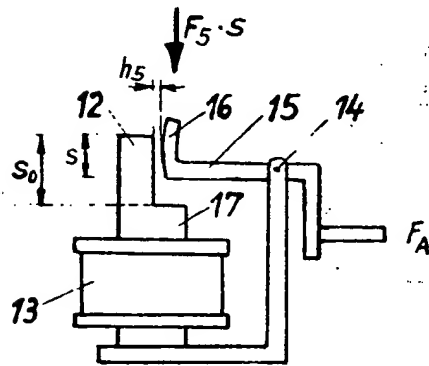


Fig 5

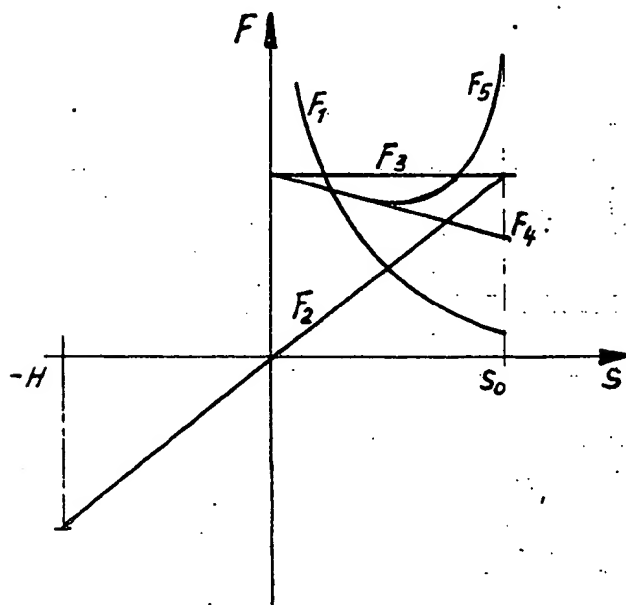


Fig 6

. 18 -

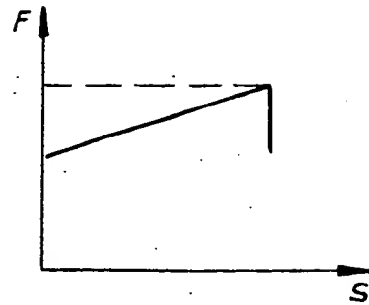
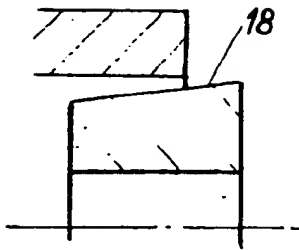


Fig 7a

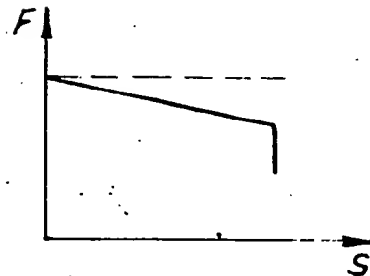
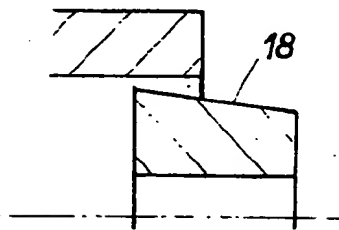


Fig 7b

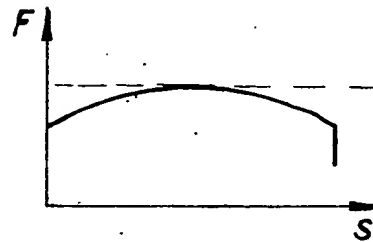
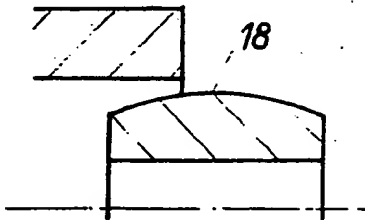


Fig 7c

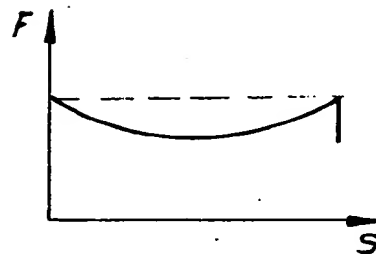
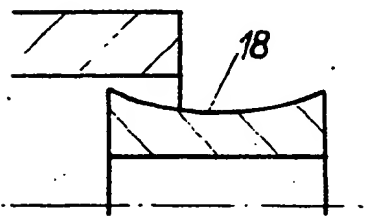


Fig 7d

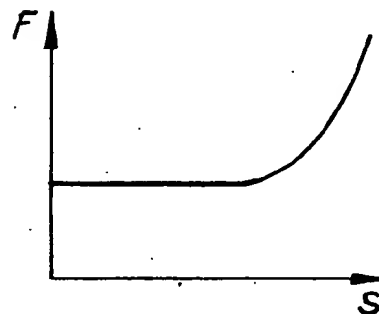
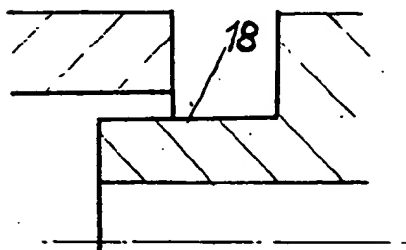


Fig 7e